第24卷 第2期
1998年3月

自 动 化 学 报
ACTA AUTOMATICA SINICA

Vol. 24, No. 2
March., 1998

关于冷贮备系统可靠性评价方法的研究[1)]

张 涛 胡东成 王晓峰
(清华大学自动化系 北京 100084) (清华大学应用数学系 北京 100084)

摘 要 以 n 模混合冷贮备系统为例，论述了冷贮备系统可靠性评价方法. 不仅提出了通用计算公式，进行详细的数学推导和证明，并由此公式给出多种冗余结构的可靠性评价公式，从而统一了它们的推导过程，揭示各冗余结构间在理论上的关系. 最后，还特别给出冷贮备系统在实际工程中的计算思路.

关键词 冷贮备系统，冗余结构，可靠性评价

1 引言

贮备系统是容错系统中可靠性最高而结构复杂的一种类型. 它的应用十分广泛，结构种类也非常繁多. 人们曾长期对其进行研究，在结构设计上推陈出新，但在理论上缺乏统一性，各种结构间的相互关系不够明确，从而在贮备系统结构设计和选择上具有一定的盲目性，缺乏理论上的推导和比较. 因此本文试图在这方面做一些工作，为贮备系统能在实际工作中发挥更大的作用做出贡献.

贮备系统包括冷贮备系统和热贮备系统. 所谓冷贮备是指部件在贮备期间不发生故障；热贮备是指部件在贮备期间也会发生故障. 本文给出了 n 模混合冷贮备系统可靠性分析和评价的通用公式，并在附录中给出详细的数学推导和证明. 文中根据公式中几个重要参数的不同取值，得出几种典型冗余结构的可靠性评价公式，从而统一了它们的推导过程，揭示了各冗余结构间在理论上的关系. 这一系列公式有利于对贮备系统的可靠性设计、分析和评价. 最后介绍了在实际工程中如何运用这些公式.

2 n 模混合冷贮备系统可靠性评价通用公式及其有关结论

2.1 假设

1)所研究系统为不可修系统；

2)系统、部件、元件都只有正常和失效两种状态. 这些系统都属于单调关联系统，即系统中每个部件的失效都与系统失效有关，并且系统的结构函数是单调非减的. 各部件相互独立；

3)本文凡涉及到的部件可靠性分布都为负指数分布. 失效率和维修率皆为常数，并

1) 航天基础性研究基金资助.
收到日期 1995-11-03

且相互独立；

4)切换装置是完好的，可靠度为 1；

5)在初始状态所有元部件和系统都是好的.

2.2　符号定义

m：正常工作部件数；n：工作部件数；s：冷备件数；$(m/n,s)$系统：表示具有 s 个冷备件的 m/n 表决系统，即 n 模混合冷贮备系统；λ：部件失效率；F：不可靠度；P：系统在 t 时刻失效的概率.

2.3　$(m/n,s)$系统可靠性评价通用公式及其有关结论　（通用公式的证明见附录）

定理 1. $(m/n,s)$系统在工作元件失效时即启动备件条件下，其可靠性评价通用公式为

$$F(\text{不可靠度}) = P(\text{系统在 } t \text{ 时刻失效})$$
$$= n^s n! \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=1}^{n-j} \sum_{l=s+1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-j-k}}{(n-j-k)!j!k!k^s} \cdot \mathrm{e}^{-\lambda nt} \frac{(\lambda kt)^l}{l!}.$$

根据定理 1，不难推出如下结论：

例 1. 当 $m=1$ 时，即$(1/n,s)$系统

$$F = n^s n! \sum_{k=1}^{n} \sum_{l=s+1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-k}}{(n-k)!k!k^s} \cdot \mathrm{e}^{-\lambda nt} \cdot \frac{(\lambda kt)^l}{l!}.$$

例 2. 当 $s=0$ 时，即$(m/n,0)$系统——m/n 表决系统

$$F = n! \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=1}^{n-j} \frac{(-1)^{n-k-j}}{(n-k-j)!k!j!} \cdot \mathrm{e}^{-\lambda nt}(\mathrm{e}^{-\lambda kt}-1) = \sum_{j=0}^{m-1} C_n^j P^j (1-P)^{n-j},$$

其中　$C_n^j = \dfrac{n!}{j!\ (n-j)!}$，$P = \mathrm{e}^{-\lambda t}$.

例 3. 当 $s=0$，$m=1$ 时，即$(1/n,0)$系统——并联系统（或 n 模单工热贮备系统）

$$F = (1-\mathrm{e}^{-\lambda t})^n.$$

例 4. 当 $s=0$，$m=n$ 时，即$(n/n,0)$系统——串联系统

$$F = \sum_{j=0}^{n-1} C_n^j P^j (1-P)^{n-j} = 1-\mathrm{e}^{-\lambda nt},\ P = \mathrm{e}^{-\lambda t}.$$

例 5. 当 $m=n=1$，$s=n-1$ 时，即$(1,n-1)$系统——n 模单工冷贮备系统

$$F = \sum_{l=n}^{\infty} \mathrm{e}^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^l}{l!},\ R = 1-F = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \mathrm{e}^{-\lambda t}.$$

例 6. $(m/n+s,0)$系统——n 模混合热贮备系统

$$F = \sum_{j=0}^{m-1} C_{n+s}^j P^j (1-P)^{n+s-j},\ \text{其中 } C_{n+s}^j = \frac{(n+s)!}{j!(n+s-j)},\ P = \mathrm{e}^{-\lambda t}.$$

定理 2. $(m/n,s)$系统在系统失效时即启动备件条件下，其可靠性评价通用公式为

$$F(\text{不可靠度}) = P(\text{系统在 } t \text{ 时刻失效})$$
$$= \sum_{k=0}^{n-m} \sum_{j=s}^{\infty} \sum_{l=j+1}^{\infty} \left(\frac{k}{m}\right)^{j-s} \frac{n!(-1)^{k+s+j}}{m!k!(n-m-k)!} \cdot \frac{(\lambda mt)^l}{l!} \mathrm{e}^{-\lambda mt}.$$

根据定理 2，不难推出如下结论：

例 1. 当 $m=1$ 时，即$(1/n,s)$系统

$$F = \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{j=s}^{\infty} \sum_{l=j+1}^{\infty} k^{j-s} \frac{n!(-1)^{k+s+j}}{k!(n-1-k)!} \cdot \frac{(\lambda t)^l}{l!} \mathrm{e}^{-\lambda t}.$$

例 2. 当 $s=0$ 时,即$(m/n,0)$系统——m/n 表决系统

$$F=\sum_{k=0}^{n-m}\frac{m}{m+k}\cdot\frac{n!(-1)^k}{k!m!(n-m-k)!}[1-e^{-\lambda(m+k)t}]$$
$$=\sum_{k=0}^{m-1}C_n^k P^k(1-P)^{n-k},P=e^{-\lambda t}.$$

例 3. 当 $s=0,m=1$ 时,即$(1/n,0)$系统——并联系统(或 n 模单工热贮备系统)

$$F=(1-e^{-\lambda t})^n.$$

例 4. 当 $s=0,m=n$ 时,即$(n/n,0)$系统——串联系统

$$F=1-e^{-\lambda nt}.$$

例 5. 当 $m=n=1,s=n-1$ 时,即$(1,n-1)$系统——n 模单工冷贮备系统

$$F=\sum_{l=n}^{\infty}e^{-\lambda t}\frac{(\lambda t)^l}{l!},P=1-F=\sum_{k=0}^{n-1}\frac{(\lambda t)^k}{k!}\cdot e^{-\lambda t}.$$

例 6. $(m/n+s,0)$系统——n 模混合热贮备系统

$$F=\sum_{k=0}^{m-1}C_{n+s}^j P^j(1-P)^{n+s-j},\text{其中}\quad C_{n+s}^j=\frac{(n+s)!}{j!(n+s-j)!},P=e^{-\lambda t}.$$

3　有关 n 模混合冷贮备系统在实际工程中的计算思路

设计贮备系统的目的就是提高系统的可靠性. 在实际工程中 n 模混合冷贮备系统的计算有两类.

3.1　有关贮备系统设计的计算

包括以下几种

1)备件数的选择

第 1 步:求失效的概率密度 $f(t)=\frac{dF}{dt}=\frac{d}{dt}P(B_m^*\leqslant t)$;

第 2 步:求数学期望(表征系统的平均工作时间)　$E(m/n,s)=\int_0^{\infty}tf(t)dt$;

第 3 步:已知 m/n,给出规定 E,则可求知 s;

第 4 步:列(E,s)对照表(通过反复运算第三步),并由此对照表画出 E'_s 与 s 的关系变化曲线(即 E'_s——s 曲线),寻找最大值. 此即为 s 对 E 影响最大时最佳备件数.

2)非备件部分结构的选择

由于以$(m/n,s)$系统为例,故主要指 m 的选择,即表决方式的选择

第 1、2 步同 1)中第 1、2 步;

第 3 步:已知 n,s,E,求 m.

3.2　有关贮备系统可靠性性能指标的计算

在已知 F 后,可得以下几个参数:

1)系统失效概率密度　$f(t)=\frac{d}{dt}F=\frac{d}{dt}P(B_m^*\leqslant t)$;

2)系统平均工作时间(即平均寿命)　$E(m/n,s)=\int_0^{\infty}tf(t)dt=\text{MTTF}$;

3)系统可靠度　$R=1-F$;

4)系统失效率　$\lambda=-\frac{1}{R}\cdot\frac{\mathrm{d}R}{\mathrm{d}t}$.

4　结束语

至此,讨论了冷贮备系统可靠性评价的方法. 给出了 n 模混合冷贮备系统不可靠度计算的通用公式,并利用这一通用公式分析了几种典型结构,介绍了 n 模混合冷贮备系统在实际工程中的计算. 根据以上分析,加深了对冷贮备系统的了解,对今后贮备系统的设计和应用有指导意义.

参　考　文　献

1 梅启智,廖炯生,孙惠中等. 系统可靠性工程基础. 北京:科学出版社,1992

2 黄祥瑞. 可靠性工程. 北京:清华大学出版社,1990

3 秦英孝,徐维新. 可靠性数学基础. 北京:电子工业出版社,1988

4 Robert Geist, Kishor Trivedi. Reliability estimation of fault-tolerant systems: tools and techniques, *IEEE Trans. Comput.*, 1990, 39(7): 52—61

5 Who kee Chung. Reliability and availability analysis of cold standby system with repair and multiple non-critical and critical errors, *Microelectron Reliab.*, 1994, **34**(12): 1891—1896

附　录

关于 n 模混合冷贮备系统可靠性评价通用公式的证明

1　数学准备

1.1　假设和符号定义同正文 2 中的 2.1,2.2.

1.2　在推导过程中,将用到下面数学公式:

1.2.1 $$\int\limits_{a\leqslant u_1\leqslant u_2\cdots\leqslant u_m\leqslant b}\mathrm{d}u_1\mathrm{d}u_2\cdots\mathrm{d}u_m=\frac{1}{m!}(b-a)^m,$$

1.2.2 $$\int\limits_{a\leqslant u_1\leqslant\cdots\leqslant u_m\leqslant b}\lambda_m\mathrm{e}^{-\lambda(u_1+\cdots+u_m)}\mathrm{d}u_1\mathrm{d}u_2\cdots\mathrm{d}u_m$$

$$\underline{\underline{w_j=\mathrm{e}^{-\lambda u_j}}}\int\limits_{\mathrm{e}^{-\lambda b}\leqslant w_m\leqslant\cdots\leqslant w_1\leqslant\mathrm{e}^{-\lambda a}}\mathrm{d}w_1\cdots\mathrm{d}w_m=\frac{1}{m!}(\mathrm{e}^{-\lambda a}-\mathrm{e}^{-\lambda b})^m,$$

1.2.3 $$A_m^k(a,b)=\int\limits_{a<v_k<v_{k-1}<\cdots<v_1<b}\frac{1}{(m-1)!}v_k^{m-1}\mathrm{d}v_1\cdots\mathrm{d}v_k$$

$$=\frac{1}{(m+k-1)!}\sum_{j=0}^{m-1}C_{m+k-1}^j a^j(b-a)^{m+k-1-j},$$

1.2.4 $$I_s^k(a)=\frac{1}{s!}\int_0^a u^s\mathrm{e}^{-ku}\mathrm{d}u=\frac{\mathrm{e}^{-ak}}{k^{s+1}}\sum_{l=s+1}^{\infty}\frac{(ak)^l}{l!},$$

1.2.5 $$I_s=\int\limits_{0<v_1<\cdots<v_s<a}\mathrm{e}^{-kv_1}\mathrm{d}v_1\cdots dv_s=\frac{(-1)^s}{k^s}\sum_{j=s}^{\infty}\frac{(-ka)^j}{j!}.$$

2　定理 1 证明

1)符号说明:

设 t_j:第 j 个元件失效时刻,$j=1,\cdots,n,\cdots,n+s$,T_j^*:第 j 个备件启动时刻,$j=1,2,\cdots,s$,

则 $T_1^*=\min\{t_1,\cdots,t_n\}$;$T_2^*=\min\{\{t_1,\cdots,t_n,t_{n+1}\}\backslash\{T_1^*\}\}\cdots\cdots T_s^*=\min\{\{t_1,\cdots,t_{n+s-1}\}\backslash\{T_1^*,T_2^*,\cdots,T_{s-1}^*\}\}$

是$\{t_1,\cdots,t_{n+s-1}\}$中最小的 s 个.

设 $B_1^*=\max\{t_1,\cdots,t_{n+s}\}, B_2^*=\max\{\{t_1,\cdots,t_{n+s}\}\backslash\{B_1^*\}\}$

$\cdots\cdots B_m^*=\max\{\{t_1,\cdots,t_{n+s}\}\backslash\{B_1^*,\cdots,B_{m-1}^*\}\}$,

则 B_m^* 为系统失效时刻.

2)证明

$$F(\text{不可靠度}) = P(\text{系统在 } t \text{ 时刻失效})$$
$$= P(B_m^* \leqslant t) = \int_D \lambda^{n+s} e^{-\lambda(t_1+\cdots+t_{n+s})} e^{\lambda(T_1^*+\cdots+T_s^*)} dt_1\cdots dt_{n+s},$$

其中
$$D=\left\{(t_1,\cdots,t_{n+s})\in R^{n+s}: \begin{array}{c} t_j\geqslant 0, j=1,2,\cdots,n+s \\ t_{n+j}\geqslant T_j^*, j=1,2,\cdots,s \\ B_m^*\leqslant t \end{array}\right\}.$$

令 $f(t_1,\cdots,t_{n+s})=\lambda^{n+s}e^{-\lambda(t_1+\cdots+t_{n+s})}e^{\lambda(T_1^*+\cdots+T_s^*)}$,

则
$$F=n!\int\limits_{\substack{0\leqslant t_1<\cdots<t_n \\ T_1^*\leqslant t_{n+1} \\ T_2^*\leqslant t_{n+2} \\ \vdots \\ T_s^*\leqslant t_{n+s} \\ B_m^*\leqslant t}} f(t_1,\cdots,t_{n+s})dt_1\cdots dt_{n+s}$$

$$=n^s n!\int\limits_{\substack{0<t_{s+1}<t_{s+2}<\cdots<t_{s+n} \\ t_{n+s+1-m}\leqslant t}} \lambda^{n+s}e^{-\lambda(t_{s+1}+\cdots+t_{n+s})}dt_1\cdots dt_{n+s}$$

$$=\frac{n^s n!\lambda^s}{s!}\int\limits_{\substack{0<t_{s+1}<\cdots<t_{s+n} \\ t_{n+s+1-m}\leqslant t}} \lambda^n e^{-\lambda(t_{s+1}+\cdots+t_{n+s})}t_{s+1}^s dt_{s+1}\cdots dt_{s+n}$$

(利用 1.2 式)

$$\xlongequal{u_i=t_{s+i}}\frac{n^s n!\lambda^s}{s!}\int\limits_{0<u_1<\cdots<u_{n-m+1}\leqslant t} \lambda^{n-m+1}e^{-\lambda(u_1+\cdots+u_{n-m+1})}u_1^s$$
$$\left[\int\limits_{u_{n-m+1}\leqslant\cdots\leqslant u_n<\infty} \lambda^{m-1}\cdot e^{-\lambda(u_{n-m+1}+\cdots+u_n)}du_{n-m+2}\cdots du_n\right]du_1\cdots du_{n-m+1}$$

$$=\frac{n^s n!\lambda^s}{s!}\int\limits_{0<u_1<\cdots<(u_{n-m+1})\leqslant t} \lambda^{n-m+1}e^{-\lambda(u_1+\cdots+u_{n-m+1})}u_1^s$$
$$\frac{1}{(m-1)!}(e^{-\lambda u_{n-m+1}})^{m-1}du_1\cdots du_{n-m+1}$$

(利用 1.2 式)

$$\xlongequal[j=2,\cdots,n-m+1]{w_j=e^{-\lambda u_j}}\frac{n^s n!\lambda^s}{s!}\int_0^t \lambda e^{-\lambda u_1}u_1^s du_1\int\limits_{e^{-\lambda t}<w_{n-m+1}<\cdots<w_2\leqslant e^{-\lambda u_1}}\frac{1}{(m-1)!}$$
$$\cdot w_{n-m+1}^{m-1}dw_2\cdots dw_{n-m+1}$$

$$=\frac{n^s n!\lambda^s}{s!}\int_0^t \lambda e^{-\lambda u_1}u_1^s\frac{1}{(n-1)!}\sum_{j=0}^{m-1}C_{n-1}^j e^{-\lambda jt}(e^{-\lambda u_1}-e^{-\lambda t})^{n-1-j}du_1 \text{(利用 1.3 式)}$$

$$=n^s n!\sum_{j=0}^{m-1}\sum_{k=0}^{n-1-j}\frac{(-1)^{n-1-j-k}}{(n-1-j-k)!j!k!}e^{-\lambda(n-1-k)t}\frac{1}{s!}\int_0^{\lambda t}u^s e^{-(k+1)u}du$$

$$= n^s n! \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{=0}^{n-1-j} \frac{(-1)^{n-1-j-k}}{(n-1-j-k)!j!k!} e^{-\lambda(n-1-k)t} \frac{e^{-\lambda(k+1)t}}{(k+1)s+1} \sum_{l=s+1}^{\infty} \frac{[\lambda(k+1)t]^l}{l!}$$

(利用 1.4 式)

$$= n^s n! \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=1}^{n-j} \sum_{l=s+1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-j-k}}{(n-j-k)!j!k!k^s} e^{-\lambda nt} \frac{(\lambda kt)^l}{l!}.$$

3. 定理 2 证明

1)符号说明:

设　t_j:第 j 个元件失效时刻,$j=1,2,\cdots,n+s$;

　T_j^*:第 j 个备件启动时刻,$j=1,2,\cdots,s$.

设　$B_1^*=\max\{t_1,\cdots,t_{n+s}\}$, $B_2^*=\max\{\{t_1,\cdots,t_{n+s}\}\backslash\{B_1^*\}\}$

　$\cdots B_m^*=\max\{\{t_1,\cdots,t_{n+s}\}\backslash\{B_1^*,\cdots,B_{m-1}^*\}\}$,

　其中 B_m^* 是系统最终失效时刻.

设　$F_1^*=\min\{t_1,\cdots,t_n\}$. 第 1 个元件失效时刻,

　$F_2^*=\min\{\{t_1,\cdots,t_n\}\backslash\{F_1^*\}\}$第 2 个元件失效时刻,

　$\cdots F_{n-m}^*=\min\{\{t_1,\cdots,t_n\}\backslash\{F_1^*,\cdots,F_{n-m+1}^*\}\}$第 $n-m$ 个元件失效时刻;

则

$$T_1^* = \min\{\{t_1,\cdots,t_n)\}\backslash\{F_1^*,\cdots,F_{n-m}^*\}\},$$
$$T_2^* = \min\{\{t_1,\cdots,t_n)\}\backslash\{F_1^*,\cdots,F_{n-m}^*,T_1^*\}\},$$
$$T_s^* = \min\{\{t_1,\cdots,t_{n+s-1})\}\backslash\{F_1^*,\cdots,F_{n-m}^*;T_1^*,\cdots,T_{s-1}^*\}\}.$$

2)证明.

$$F(\text{不可靠度}) = P(\text{系统在 } t \text{ 时刻失效})$$
$$= P(B_m^* \leqslant t) = \int_D \lambda^{n+s} e^{-\lambda(t_1+\cdots+t_{n+s})} e^{\lambda(T_1^*+\cdots+T_s^*)} dt_1\cdots dt_{n+s},$$

其中
$$D = \left\{ (t_1,\cdots,t_{n+s}) \in R^{n+s} : \begin{array}{c} t_j \geqslant 0, j=1,2,\cdots,n+s \\ t_{s+j} \geqslant T_j^*, j=1,2,\cdots,s \\ B_m^* \leqslant t \end{array} \right\}.$$

定义 $f(t_1,\cdots,t_{n+s})=\lambda^{n+s}e^{-\lambda(t_1+\cdots+t_{n+s})}e^{\lambda(T_1^*+\cdots+T_s^*)}$,

$$F = n! \int\limits_{\substack{0\leqslant t_1<t_2<\cdots<t_n \\ t_{n-m+1}=T_1^*\leqslant t_{n+1} \\ \cdots \\ T_s^*\leqslant t_{n+s} \\ B_m^*\leqslant t}} f(t_1,\cdots,t_{n+s}) dt_1\cdots dt_{n+s}$$

$$= m^s n! \int\limits_{\substack{0<t_1<t_2<\cdots<t_{n+s} \\ t_{n+s+1-m}=B_m^*\leqslant t}} \lambda^{n+s} e^{-\lambda(t_1+\cdots+t_{n-m}+t_{n-m+s+1}+\cdots+t_{n+s})} dt_1\cdots dt_{n+s}$$

$$\underline{\underline{v_j=\lambda t_{n-m+j}}}\; m^s n! \int\limits_{0<v_1<\cdots<v_{s+1}<\lambda t} e^{-v_{s+1}} \frac{1}{(n-m)!}(1-e^{-v_1})^{n-m}$$

$$\frac{1}{(m-1)!} e^{-v_{s+1}(m-1)} dv_1\cdots dv_{s+1}$$

$$= \sum_{k=0}^{n-m} \frac{m^{s+1}n!(-1)^k}{m!k!(n-m-k)!} \int_0^{\lambda t} e^{-mv_{s+1}} dv_{s+1} \int\limits_{0<v_1<\cdots<v_{s+1}} e^{-kv_1} dv_1\cdots dv_s$$

$$= \sum_{k=0}^{n-m} \sum_{j=s}^{\infty} \frac{m^{s+1}n!(-1)^k}{m!k!(n-m-k)!} \frac{(-1)^s}{k^s} \frac{1}{j!} \int_0^{\lambda t} e^{-mv_{s+1}} v_{s+1}^j dv_{s+1}$$

(利用 1.5 式)

$$= \sum_{k=0}^{n-m}\sum_{j=s}^{\infty}\sum_{l=j+1}^{\infty}\frac{m^{s+1}n!(-1)^k}{m!k!(n-m-k)!}\frac{(-1)^s}{k^s}\frac{(\lambda mt)^l}{l!}(-k)^j\frac{e^{-\lambda mt}}{m^{j+1}}$$

(利用 1.4 式)

$$= \sum_{k=0}^{n-m}\sum_{j=s}^{\infty}\sum_{l=j+1}^{\infty}\left(\frac{k}{m}\right)^{j-s}\frac{n!(-1)^{k+s+j}}{m!k!(n-m-k)!}\frac{(\lambda mt)^l}{l!}e^{-\lambda mt}.$$

STUDY ON RELIABILITY ESTIMATION METHOD FOR COLD STANDBY SYSTEMS

ZHANG TAO HU DONGCHENG

(*Department of Automation, Tsinghua University, Beijing* 100084)

WANG XIAOFENG

(*Department of Applied Mathematics, Tsinghua University, Beijing* 100084)

Abstract This paper discusses the reliability estimation method for the cold standby system by illustrating n-module mixed cold standby system. We not only present the general algorithm formulas and their mathematical proof in detail, but also deduce the reliability estmation formulas of several redundant structures. The paper unifies the deducing process for these redundant structures and shows their theoretic relations. Finally, the paper especially describes the calculating thought for a cold standby system which is in a practical project.

Key words Cold standby system, redundant structure, reliability estimation

张 涛 1969年生.1993年获清华大学自动化系学士学位,1995年获清华大学自动化系硕士学位.现为清华大学自动化系自动化仪表及装置专业博士研究生.曾从事计算机网络系统分析与设计,专家系统设计,电机控制系统设计等方面研究.现在主要研究方向是容错计算机系统和人工神经元网络的可靠性分析与设计.

胡东成 1946年生.1970年毕业于清华大学电机工程系,留校于自动化系任教.现为清华大学自动化系主任、教授、博士生导师、清华大学自动控制博士后流动站站长、中国自动化学会教育工作委员会主任委员、中国电子学会高级会员、国家教委高校工科电工课程教学指导委员会电子技术与线路组委员.长期从事电子与自动化方面的教学与科研工作,主要研究方向为自动测试、故障诊断与可靠性.

王晓峰 1969年10月生于北京.1992年毕业于清华大学应用数学系,获学士学位.1993年至今在清华大学应用数学系攻读博士学位.曾对连续Hopfield神经网络模型的分歧理论作过一些研究工作.目前研究方向为动力系统、常微分方程分歧理论.